

Schult, Thomas J.; Reimann, Peter

Automatisierte Hilfe für das Lernen aus Lösungsbeispielen

Unterrichtswissenschaft 29 (2001) 1, S. 64-81



Quellenangabe/ Reference:

Schult, Thomas J.; Reimann, Peter: Automatisierte Hilfe für das Lernen aus Lösungsbeispielen - In: Unterrichtswissenschaft 29 (2001) 1, S. 64-81 - URN: urn:nbn:de:0111-opus-76788 - DOI: 10.25656/01:7678

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-opus-76788>

<https://doi.org/10.25656/01:7678>

in Kooperation mit / in cooperation with:

BELTZ JUVENTA

<http://www.juventa.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.
Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Unterrichtswissenschaft

Zeitschrift für Lernforschung
29. Jahrgang / 2001 / Heft 1

Thema: Lernen aus Lösungsbeispielen

Verantwortlicher Herausgeber:
Alexander Renkl

Alexander Renkl: Lernen aus Lösungsbeispielen: Einführung	2
Angela Kroß, Gunter Lind: Einfluss von Vorwissen auf Intensität und Qualität des Selbsterklärens beim Lernen mit biologischen Beispielaufgaben	5
Robin Stark, Hans Gruber, Heinz Mandl, Ludwig Hinkofer: Wege zur Optimierung eines beispielbasierten Instruktionsansatzes: Der Einfluss multipler Perspektiven und instruktionaler Erklärungen auf den Erwerb von Handlungskompetenz	26
Alexander Renkl: Explorative Analysen zur effektiven Nutzung von instruktionalen Erklärungen beim Lernen mit Lösungsbeispielen	41
Thomas J. Schult, Peter Reimann: Automatisierte Hilfe für das Lernen aus Lösungsbeispielen	64
Michael Henninger: Auf dem Highway ist die Hölle los oder Die instruktionale Unter- stützung bei Lösungsbeispielen auf der Überholspur (Kommentar)	82
Wolfgang Schnotz: Lernen aus Beispielen: Ein handlungstheoretischer Rahmen (Kommentar)	88

Thomas J. Schult, Peter Reimann

Automatisierte Hilfe für das Lernen aus Lösungsbeispielen

Automatized Support for Learning from Worked-Out Examples

Beispiele spielen eine wichtige Rolle beim Wissenserwerb. Geht es um komplexe Aufgabenstellungen, so nutzen Lerner insbesondere Musterlösungen als Vorlage für eigenes Problemlösen, beispielsweise in Mathematik oder Physik. Allerdings gibt es große interindividuelle Unterschiede in der Fähigkeit, solche Lösungsbeispiele fruchtbar einzusetzen. Wir diskutieren, welche Konsequenzen dies für die Gestaltung von Lehrmaterial hat und wie eine automatisierte Unterstützung der Nutzung von Beispielen aussehen kann. Das computergestützte Lehrsystem CACHET („Case-Based Chess Endgame Tutor“) demonstriert einen dynamischen Ansatz zum Lernen aus Beispielen (Fällen). Wesentliche Elemente des Ansatzes sind die Erzeugung von Beispielen, die an die Lehrsituation angepasst sind, und die Erinnerung an frühere relevante Situationen. Im Gegensatz zu anderen fallbasierten Lehrsystemen wird bei CACHET besonderes Augenmerk auf die Verarbeitung der Fälle beim Lerner gerichtet. Durch geeignete Interventionen, die durch kognitionswissenschaftliche Analysen gewonnen wurden, wird der Lerner zu solchen Aktivitäten angehalten, die dem Wissenserwerb förderlich sind. Dies erfordert eine besonders sorgfältige Evaluation: Anstatt nur nach Abschluß der Implementierung die Effektivität des Systems als Ganzes zu belegen, ist bei CACHET die Validierung Teil des Entwicklungsprozesses und umfaßt empirische Studien vor, während und nach der Realisierung des Lehrsystems.

Examples play an important role in knowledge acquisition. When solving complex problems, for example, in mathematics or physics, learners use worked-out solutions as a model for their own problem solving. However, there are interindividual differences in the ability to fruitfully rely on such examples. We argue that this has consequences for the design of instructional materials and we outline how an automatized support of example use can be designed. The computer-supported instructional system CACHET („Case-Based Chess Endgame Tutor“) exemplifies a dynamic approach of an example-based (case-based) learning environment. Central elements of this approach are the generation of examples that are adapted to the learning situation and reminders to previous relevant situations. In contrast to other case-based systems, CACHET has a special focus on the learners' example processing. Instructional interventions that are based on cognitive analyses induce learning activities that are known to foster knowledge acquisition. This requires a careful evaluation: Instead of proving the system's effectiveness after its completion, the validation of CACHET is part of the developmental process and includes empirical studies before, during, and after its construction.

1. Beispiele als Medium der Wissenskommunikation

Die Beiträge in diesem Thementeil zeigen, dass Lernen ohne Beispiele kaum vorstellbar ist. Beispiele sind kein entbehrliches Anhängsel des „eigentli-

chen“ Lehrmaterials, sondern oft der wichtigste Anknüpfungspunkt für eigenes Problemlösen.

Einerseits können Beispiele aus Motivationsgründen wichtig sein. Sie können viel mehr als abstrakter Lehrtext Interesse wecken und persönlichen Bezug herstellen. Andererseits sind sie oft das eigentliche Material, aus dem zu lernen ist, weil sich das zu Lehrende einer anderen Vermittlung entzieht. Es gibt wohl niemanden, der seine Muttersprache nicht über Beispiele gelernt hat. Die Regeln ihrer Grammatik beherrschen die meisten fast perfekt, ohne diesen Regeln je in ihrer abstrakten Form begegnet zu sein, gar ohne diese Regeln auf Anhieb angeben zu können.

Schließlich können Beispiele auch „nur“ illustrativen Zweck haben, als redundantes Beiwerk zur eigentlich völlig ausreichenden Hauptsache. Aber dies kommt beim Lehren und Lernen selten vor.

Warum sind Beispiele so nützlich, obwohl sie doch nur einen konkreten Vorgang oder eine Situation beschreiben, die uns in dieser Form vielleicht nie mehr begegnet? Beispiele wirken auf drei verschiedene Art (Reimann, 1997):

Kontrollfunktion: Wer eine komplexe Aufgabe löst - etwa eine Physikaufgabe oder die Konstruktion einer Brücke - steht ständig vor der Frage, was als nächstes zu tun ist. Anstatt nun alle möglichen Alternativen durchzugehen und zu bewerten, kann man sich mit Hilfe eines Beispiels zunächst einmal auf das beschränken, was im Beispiel als nächstes geschieht. Beispiele liefern also Vorschläge, wie Kontrollprobleme dieser Art entschieden werden können. Ohne solche Hilfen müssen Novizen möglicherweise planlos herumsuchen und im Fehlerfall bereits getroffene Entscheidungen zurücknehmen. Ein solches für Anfänger typisches Suchverhalten stellt hohe Anforderungen an Aufmerksamkeit und Gedächtnis, so dass relativ wenig über den Bereich selbst gelernt wird (Sweller, 1988). Experten können sich dagegen mehr auf Strategien und Pläne stützen und sind in der Lage, den Suchbereich stärker einzugrenzen. In Abwesenheit solcher allgemeiner Pläne können Beispiele wenigstens einen angewandten Plan liefern und so den Lösungsprozeß leiten.

Interpretationsfunktion: Wer z.B. Physikaufgaben bearbeitet und die relevanten Formeln kennt, muß nicht unbedingt auch in der Lage sein, die Aufgabe zu lösen. Solche allgemeinen Prinzipien müssen angewendet werden, und wie diese Anwendung aussieht, steht nicht in den Prinzipien selbst. Begriffe wie „Beschleunigung“ und „Kraft“ sind einzuführen oder mit Leben zu füllen, weil sie uns - zumindest in der speziellen Verwendungsweise - nicht vertraut sind. Beispiele können zeigen, wie solche Begriffe interpretiert werden können. Es ist generell nicht einfach und erfordert sowohl Alltagswissen als auch Fachwissen, etwa bei Physikaufgaben eine „wissenschaftliche“ Repräsentation zwischen umgangssprachlichem Aufgabentext und resultierenden Gleichungen zu schaffen, die Begriffe wie die genannten enthält. Experten verwenden viel mehr Zeit für die Erstellung einer solchen Zwischenrepräsentation als Novizen (Chi, Feltovich & Glaser, 1981). Novizen springen dage-

gen oft direkt vom Aufgabentext zu einer mathematischen Repräsentation in Gleichungsform, was einen großen Teil ihrer Fehler erklären dürfte (Plötzner, 1994; Kintsch & Greeno, 1985). In Beispielen kann man sehen, wie abstrakte Konzepte für konkrete Problemstellungen quasi operationalisiert werden.

Lernfunktion: Aus Beispielen kann auch abstrakteres Wissen gebildet werden, etwa durch Vergleich vieler Beispiele (*induktives Lernen*) oder durch die Analyse eines einzigen Beispiels unter Verwendung von Vorwissen (*erklärungsbasiertes Lernen*). Wenn versucht wird, das Vorgehen aus einem Beispiel direkt auf eine neue Situation zu übertragen, dienen Beispiele als Ausgangspunkt für *analoges* oder *fallbasiertes* Schließen. *Inkrementelles Generalisieren* findet schließlich statt, wenn sich bei der Anwendung einer früheren Lösung auf eine neue Aufgabe zeigt, dass ein bestimmtes Merkmal des früheren Falls für die Lösung irrelevant ist.

Die drei genannten Funktionen verdeutlichen, warum wir uns beim Problemlösen so gerne auf Beispiele stützen. Die Verwendung von Beispielen ist aber auch mit Schwierigkeiten verbunden, und nicht jeder Lerner kann sie richtig einsetzen. Besondere Beachtung verdient dabei das *Transferproblem*: Selbst wenn ein Beispiel verstanden wird, kann es möglicherweise nicht genutzt werden - sei es, weil die nötigen Indizierungen oder Generalisierungen nicht gebildet werden, die eine Anwendung auf andere Aufgaben erlauben, sei es, weil der Brückenschlag zu einer anderen Aufgabenstellung in Form einer Analogieabbildung von Objekten und Merkmalen der Beispielssituation nicht korrekt durchgeführt wird, so dass die Lösung des Beispiels nicht sinnvoll übertragen und ggf. modifiziert werden kann.

Die Probleme bei der Nutzung von Beispielen als Lern- und Problemlöseresource wurden insbesondere in Arbeiten deutlich, bei denen interindividuelle Unterschiede zwischen Lernenden beim Umgang mit Beispielen im Mittelpunkt standen. Eine wichtige psychologische Untersuchung aus diesem Bereich ist die „Selbsterklärungsstudie“ von Chi, Bassok, Lewis, Reimann und Glaser (1989), in der es um Musterlösungen aus einem Standardlehrbuch zur Mechanik (Halliday & Resnick, 1981) geht. Die Vpn, die alle über nur geringes physikalisches Vorwissen verfügten, hatten zunächst einige Lehrbuchkapitel zu den Grundlagen der Mechanik zu lesen. Ihr Verständnis wurde durch mehrere Zwischentests überprüft. An diese Phase schloß sich eine zweite an, in der die Vpn ausgearbeitete Musterlösungen studieren sollten, und eine dritte, in der sie selbständig Aufgaben zu lösen hatten. Die Beispiele und Aufgaben stammten aus dem Bereich der Newtonschen Gesetze. In den Aufgaben wurden oberflächliche und strukturelle Merkmale der Beispiele kontrolliert variiert, so dass zur Lösung der Aufgaben unterschiedlich ausgeprägte Transferleistungen zu erbringen waren, sofern sie unter Hinzuziehung der Beispiele gelöst wurden. Anhand der Resultate bei der Lösung der Aufgaben wurden die Vpn in eine erfolgreiche und eine weniger erfolgreiche Gruppe eingeteilt. Diese Gruppen wurden anschließend hinsichtlich ihres Verhaltens beim Studium der vorangehenden Musterlösungen verglichen, wobei Daten lauten Denkens zur Verfügung standen.

Folgende Unterschiede ergaben sich für die Phase des Lernens aus Beispielen: Gute (d.h. beim nachfolgenden Problemlösen erfolgreiche) Vpn gaben öfter an, einen bestimmten Teil des Lösungsbeispiels nicht zu verstehen. Neben diesen Unterschieden im „Monitoring“ führten die guten Vpn deutlich mehr Elaborationen als die schlechteren durch. Dabei gaben sie zu Schritten aus der Musterlösung die Ziele an, denen diese Schritte dienen. Oder sie nannten Bedingungen, die erfüllt sein müssen, damit der in einem Beispielschritt verwendete Operator überhaupt anwendbar ist. Schließlich identifizierten sie auch solche Auswirkungen der eingesetzten Operatoren, die nicht in der Musterlösung genannt wurden. Alle diese Selbsterklärungen wurden von den schlechten Problemlösern deutlich weniger abgegeben.

Die von den Vpn erzeugten Selbsterklärungen (Elaborationen) konnten generell Lücken in den eingesetzten Lehrbuchbeispielen schließen. In solchen Musterlösungen wird oft nicht gezeigt, wie die einzelnen Schritte zu den Prinzipien in Beziehung stehen, die sie illustrieren sollen. Außerdem werden im allgemeinen weder die Bedingungen für die Anwendung von Problemlöseoperatoren noch ihre Auswirkungen erschöpfend dargestellt.

Die genannten Unterschiede in den Selbsterklärungen beim Beispielstudium sind offenbar die Ursache für die Qualität der Problemlösungen: Wer viel elaboriert, kann nachher mehr Aufgaben lösen, insbesondere auch solche, die den Musterlösungen wenig ähneln und daher höhere Transferleistungen erfordern. Dies wird als „Selbsterklärungseffekt“ bezeichnet. Andere Faktoren wie Unterschiede beim Physik-Vorwissen oder größere Intelligenz konnten in der Untersuchung als Ursachen weitgehend ausgeschlossen werden.

Für den Bereich der Selbsterklärungen in der Mechanik liegen eine Reihe von weiteren Analysen vor, die ein klareres Bild der involvierten Lern- und Problemlöseprozesse geben (z.B. Chi & VanLehn, 1991; VanLehn, Jones & Chi, 1992; VanLehn, 1998). Auch für andere Bereiche als Mechanik ist der Effekt inzwischen belegt und weiter differenziert worden (z.B. Chi, de Leeuw, Chiu, & LaVancher, 1994; Ferguson-Hessler & de Jong, 1990; Pirolli & Recker, 1994; Renkl, 1997; Renkl et al., 1998; Stark, 1999).

Die Analyse interindividueller Unterschiede beim Lernen aus Beispielen und beim Einsatz dieses Wissens zum Problemlösen legt den Schluss nahe, dass bessere Lerner oder Problemlöser über mehr Wissen verfügen, das sie zudem flexibel repräsentieren: Dazu gehören Beispiele oder Erfahrungen in spezifischer Form und darüber hinaus generalisiertes Wissen, z.B. über Bereichsprinzipien. Sie indizieren Beispiele einerseits durch Oberflächenmerkmale, andererseits durch strukturelle Merkmale. Darüber hinaus setzen sie dieses Wissen in flexibler, an die Problemstellung angepasster Form ein. Weniger erfolgreiche Lerner hingegen verfügen über eine eingeschränkte Repräsentation des Bereichswissens (in relativ spezifischer Form mit Konzentration auf Oberflächenmerkmale) und sind entsprechend wenig flexibel bei der Anwendung zum Problemlösen.

2. Instruktionspsychologische Konsequenzen

Zur Motivierung instruktionspsychologischer Implikationen, die sich aus den zahlreichen Studien zum Wissenserwerb aus Lösungsbeispielen ergeben, schlagen wir ein Drei-Ebenen-Modell der Wissensrepräsentation für Gegenstandsbereiche vor, in denen Lernern Prinzipienwissen und Beispiele vermittelt werden: Auf der ersten Ebene, der einfachen Beispielrepräsentation, werden die hervorstechenden Merkmale des Beispiels kodiert. Diese Repräsentation enthält keine strukturellen Merkmale, es sei denn, solche sind im Beispiel selbst erwähnt. Diese Repräsentation ermöglicht beim Problemlösen eine einfache Form der Analogiebildung, bei der versucht wird, die Beispiellösung direkt auf die neue Aufgabenstellung zu übertragen. Auf der zweiten Ebene, der elaborierten Beispielrepräsentation, werden neben den hervorstechenden Merkmalen alle Inferenzen (Elaborationen) gespeichert, die bei der aktiven Verarbeitung des Beispiels erzeugt werden. Diese Inferenzen betreffen Operatoridentifikationen, Vorbedingungen von Operatoren, ihre Effekte, Beziehungen von Operatoren zu Problemlösezielen, Relationen zwischen den Zielen, Beziehungen zu theoretischen Konzepten usw. Diese Form der Beispielrepräsentation erlaubt anspruchsvollere Formen analogen Problemlösens, z.B. solche, die Carbonell (1986) mit *derivational analogy* bezeichnet (hier als Herleitungsanalogie übersetzt). Auf der dritten Ebene wird die Information, die ein Beispiel enthält, (in Teilen) in Form von verallgemeinernden Regeln (aber auch als Schemata oder Pläne) erfasst; wir haben es also mit einer generalisierten Wissensrepräsentation zu tun. Dadurch wird es einer Person möglich, Probleme "expertenhaft" zu lösen, geleitet von bereichsspezifischen Prinzipien und Prozeduren, aber ohne Bezug auf Beispiele.

Es liegt nahe, diese drei Ebenen als Entwicklungssequenz zu interpretieren. Eine solche Interpretation möchten wir aber nicht unbedingt nahelegen. Vielmehr kann davon ausgegangen werden, daß Lerner Wissen über den Bereich und Lösungsbeispiele auf allen diesen Stufen gleichzeitig verfügbar haben, also z.B. nicht notwendigerweise auf die Speicherung von Details einer Lösung verzichten, auch wenn sie über generalisiertes Bereichswissen verfügen (siehe z.B. Ross, 1987). Es mag aber durchaus der Fall eintreten - und viele empirische Befunde sprechen dafür -, daß ein Lerner Beispielinformationen primär nur auf einer Ebene repräsentiert, vor allem der untersten, die am einfachsten zu produzieren ist.

Aus instruktionspsychologischer Sicht scheint uns die mittlere Ebene, die der elaborierten Beispielrepräsentationen, besonders interessant, da diese zum einen eine Beziehung zwischen novizenhafter und expertenhafter Wissensrepräsentation herstellt, zum zweiten selbst schon effektive Formen des Problemlösens (z.B. Herleitungsanalogie) erlaubt. Diese Ebene könnte also dazu dienen, Anfänger „dort abzuholen, wo sie stehen“, und ihnen einen Entwicklungspfad hin zu expertenhafter Repräsentation und Performanz aufzuzeigen. Damit wäre ein Problem überwunden, das einer pädagogischen Anwendung der Ergebnisse der Experten-Novizen-Forschung oft im Wege

steht: Zwar kennen wir Eigenschaften des Anfängers und des Experten, es ist aber unklar, wie die Kluft zwischen beiden überwunden werden kann (vgl. Glaser, 1991).

Um Beispiele zu einer Lernquelle zu machen, die nicht nur eine Minderheit von Lernenden effektiv nutzt, sind eine Vielzahl von Maßnahmen denkbar. Diese fallen in eine (oder mehrere) von drei Klassen: (a) Verbesserung der Beispiele selbst, (b) Verbesserung der Lernkompetenz; (c) gezielte Unterstützung beim Lernen.

- (a) Verbesserung der Beispiele: Zum Beispiel dadurch, dass man sie anreichert mit Informationen über Teilziele und die Beziehung zwischen den Teilzielen. Wie u.a. Catrambone und Holyoak (1990) zeigen, kann dies effektiv sein. Dieser Ansatz hat allerdings zwei gravierende Nachteile: Zum einen werden Beispiele dadurch sehr lang und umständlich; auch werden nicht alle Teile der Zusatzinformationen für alle Lernenden gleich relevant sein. Der zweite Nachteil liegt darin, dass man die Lernenden um die Gelegenheit bringt, ihr Wissen selbst zu entwickeln. Die eigene Generierung von Inferenzen ist aber entscheidend für Behaltens- und Versteheisleistungen (Chi, de Leeuw, Chiu & LaVancher, 1994)
- (b) Verbesserung der Lernkompetenz: Zum Beispiel lassen sich auf metakognitiver Ebene Strategietrainings entwickeln, um adäquat von Beispielen zu lernen und sie beim Problemlösen einzusetzen. Wie u.a. Bielaczyc et al. (1995) zeigen konnten, lässt sich dadurch der Lerneffekt deutlich steigern. Dieser Ansatz teilt den Nachteil von Lernstrategieinterventionen: Die Strategien werden nur bei massiver Intervention von der Trainingssituation auf andere Kontexte übertragen (Mandl & Friedrich, 1992; Boekaerts, 1997)
- (c) Schließlich kann man versuchen, die Lern- und Problemlöseumwelt so zu gestalten, dass der Umgang mit Beispielen mehr oder weniger automatisch optimiert wird. Wir haben diesen Ansatz in eigenen Arbeiten weiterverfolgt, da er die Nachteile der anderen beiden Interventionsansätze vermeidet. Natürlich gibt es keine „Lösung“, die nicht selbst neue Probleme hervorbringt. Dem von uns verfolgten Ansatz, die Lern- und Problemlöse-tätigkeit durch computerbasierte Lernhilfen zu unterstützen, ist das Problem inhärent, dass die Lernenden in zu große Abhängigkeit von den Hilfen geraten, es also zu reflektieren wäre, ob das *learning with the tool* das *learning from the tool* (Salomon & Perkins, 1991) noch ausreichend fördert.

3. Computerbasierte Unterstützung des Wissenserwerbs aus Beispielen

Die Idee eines „Gedächtnisassistenten“ wurde entwickelt, um speziell den Wissenserwerb aus Lösungsbeispielen zu fördern, ist aber nicht unbedingt darauf beschränkt. Aufgabe des Gedächtnisassistenten ist es, sowohl die Ela-

boration als auch die Organisation und Nutzung von Beispielen zu unterstützen. Das Programm soll dabei vor allem eine dem Lernen hinderliche Gedächtnisbelastung vermindern und zur systematischen Elaboration sowie zum reflektierten Transfer anhalten.

Der Kern eines Gedächtnisassistenten besteht aus zwei Komponenten, dem Fallspeicher (mit Lösungsbeispielen) und der Benutzerschnittstelle. Grundlage ist das Paradigma des fallbasierten Denkens (Kolodner, 1993). Der Fallspeicher enthält Wissen über vom Benutzer früher bearbeitete Aufgaben und ihre Lösungen (Fälle). Zwei Aufgaben muss der Fallspeicher in diesem Zusammenhang leisten: Den Abruf von Fällen und das Abspeichern neuer Fälle. Zentral beim Abruf von Fällen ist die Frage nach dem Ähnlichkeitsmaß, beim Abspeichern neuer Fälle die Frage nach den Indizierungsmerkmalen, die später für den Abruf dieser Fälle wichtig sind. Beide Fragen hängen zusammen und betreffen das Beschreibungsvokabular für Fälle.

Die Schnittstelle eines Gedächtnisassistenten sollte dem Benutzer ermöglichen, Informationen aus einem Beispiel zusammen mit eigenen Inferenzen in ein einheitliches Fallbeschreibungsformat zu integrieren und im Fallspeicher abzulegen. Wie dies im Einzelfall aussehen könnte, muss durch eine Analyse des jeweiligen Sachbereichs bestimmt werden. Es ist allerdings keine triviale Aufgabe, eine solche Schnittstelle zu entwickeln. Ein Problem könnte sein, dass der Benutzer des Gedächtnisassistenten andere Begriffe zur Beschreibung eines Falls für relevant hält, als sie das Programm anbietet - die Sprache des Programms ist aus der Sicht des Benutzers unvollständig. Um ihn nicht allein auf die in der Regel doch beschränkten Eingabeformate des Programms zu begrenzen, könnte die Schnittstelle zusätzlich eine Art „Notizbuch“ anbieten, mit dem weitere Ideen und Einfälle als Text oder evtl. graphisch annotiert werden können. Ein weiteres Problem kann darin bestehen, dass sich die Begriffe und Merkmale, mit denen Beispiele und Problemlösungen beschrieben werden, mit der Zeit ändern. Zum Beispiel könnte ein Lerner, nachdem er einige Aufgaben bearbeitet hat, feststellen, dass ein Merkmal, das er bisher nicht beachtet hat, durchaus wichtig ist und in die Beschreibung der früher bearbeiteten Aufgaben integriert werden sollte.

Welche Aufgaben sind im Szenario des Lernens aus Beispielen zu bewältigen, und welche Form könnte die Unterstützung durch den Gedächtnisassistenten dabei annehmen? Der Lerner muss beim Wissenserwerb aus Beispielen auf der Grundlage bereits vorhandenen Bereichswissens ein Lösungsbeispiel nachvollziehen und elaborieren (Elaborationsaufgabe) und dabei neues Bereichswissen erwerben, wenn das vorhandene Wissen nicht ausreicht, das Lösungsbeispiel zu verstehen (Lernaufgabe). Er wird später mit dem erworbenen Wissen neue Aufgaben bearbeiten (Problemlöseaufgabe) und dabei, falls nötig, die früher bearbeiteten Aufgaben heranziehen (Transferaufgabe).

Wir haben einen solchen Gedächtnisassistenten prototypisch für den Lerngegenstand Schachendspielkompetenz entwickelt und evaluiert.

4. Ein dynamisches fallbasiertes Lernsystem: CACHET

Die von uns entwickelte Architektur verbindet Elemente des *model tracing* (Anderson, Boyle & Yost, 1985) mit denen der „klassischen“ fallbasierten Unterrichtssysteme (Schank & Cleary, 1995) und ergänzt beide um eine Komponente der dynamischen Erweiterung der Fallbibliothek. Unter anderem können die Lernenden selbst Fälle erzeugen, die in das System übernommen werden.

Die Vorgehensweise von CACHET ist wie beim *model tracing* dadurch gekennzeichnet, dass das System die gleiche Aufgabe wie der Lerner ausführt und anschließend die Ergebnisse vergleicht. Dafür ist im Gegensatz zum Standardmodell statischer fallbasierter Lehrsysteme eine Komponente erforderlich, die eine expertenhafte Kompetenz im entsprechenden Gegenstandsbereich hat. Liegt ein Fehler des Lerners vor oder ein anderer Anlass, der auf ein zusätzliches Informationsbedürfnis des Lernenden schließen lässt, kann anschließend die Präsentation eines unterstützenden Falls veranlasst werden. Die Vorgehensweise ähnelt also zunächst der beim *model tracing*, wobei aber eine festgestellte wesentliche Abweichung des Lerners von der Expertenlösung nicht in eine direkte, sondern eine indirekte Intervention in Form eines unterstützenden Falls mündet, die dem Lerner noch die Gelegenheit zum eigenen Entdecken der Gesetzmäßigkeiten des Bereichs lässt und wiederholte gleiche Abweichungen nicht ahndet. Wenn der Lerner also auf seiner Aktion besteht, greift das System an dieser Stelle nicht ein zweites Mal ein.

Die Bestimmung der Unterstützung bei Fehlern ist eine weitere Besonderheit von CACHET. Während im Standardmodell für fallbasierte Lehrsysteme Fehlertypen direkt mit vordefinierten Fällen assoziiert sind, stehen hier drei Arten von Fällen zur Verfügung: Zunächst ebenfalls ein statischer Fallspeicher mit vom Entwickler spezifizierten Fällen, weiterhin ein Fallspeicher, in dem diejenigen Fälle abgelegt werden, die der Lerner mit Hilfe des Lehrsystems bearbeitet und an die er erinnert werden kann. Dieser zweite Fallspeicher wird also für jeden Lerner neu gefüllt. Schließlich können auch solche Fälle präsentiert werden, die angepasst an die aktuelle Lernsituation vom System erzeugt werden. Dieser Fallspeicher wird also in jedem Zyklus des Modells neu gefüllt (oder bleibt leer). Im Schachbereich kann dort etwa eine Situation erzeugt werden, die aus der aktuellen Stellung in wenigen Zügen erreichbar ist, und die dem Lerner zur Berücksichtigung dargeboten werden soll.

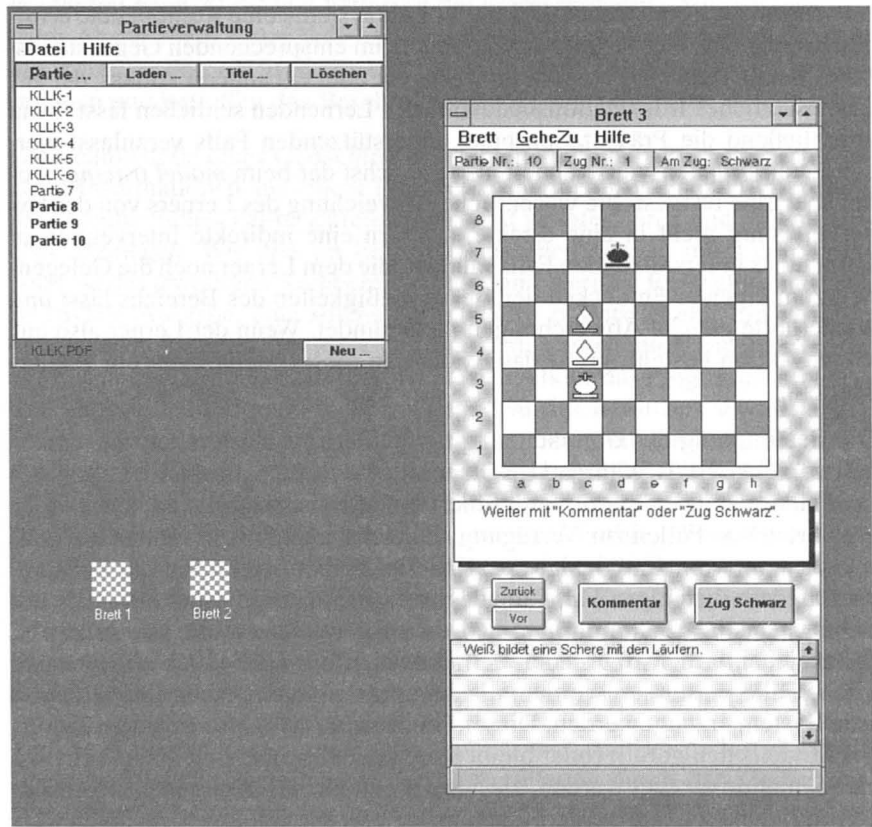
4.1 Die Interaktion mit CACHET

CACHET wurde entwickelt für die Vermittlung von Wissen über Schach(end)spiele. Wir haben den Bereich Schach vor allem deshalb gewählt, weil man hier typischerweise lernt, indem man selbst Partien spielt und seine Partien bzw. die von anderen analysiert. Dem Lernen durch Tun

steht hier das Lernen aus Beispielen (fremd-wie selbstproduzierten) fast gleichberechtigt zur Seite.

In Abbildung 1 ist zu sehen, wie ein typischer Bildschirm bei der Arbeit mit CACHET aussieht. Die Struktur der Oberfläche wurde zu einem großen Teil von Bellers SEECheSS-Programm (Beller, 1994) zur Förderung von Elaborationsaktivitäten beim Schachspiel übernommen und an die besonderen Bedürfnisse von CACHET angepasst.

Abbildung 1:
Typischer Bildschirm aus CACHET.

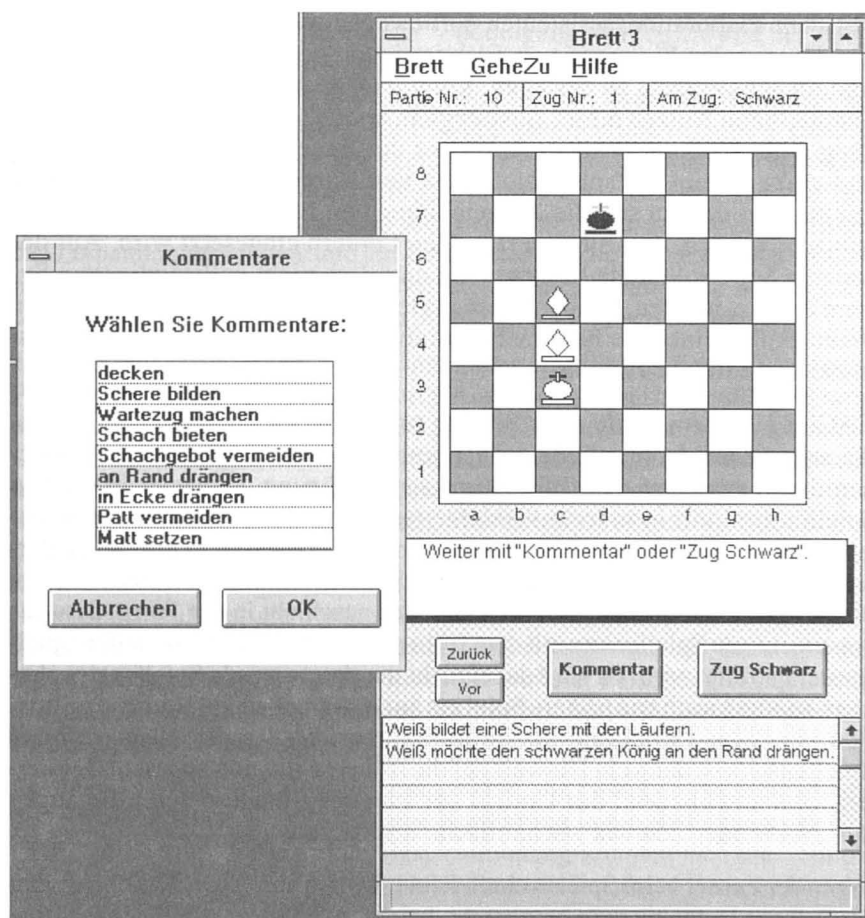


Links oben in Abbildung 1 ist die Partieverwaltung zu sehen. Hier sind vor-spezifizierte Endspiele (oder auch nur einzelne Stellungen) abgelegt und kön-nen vom Lerner benannt und in die eigentlichen Spielfenster geladen wer-den. Ein solches Spielfenster ist rechts zu sehen. Es besteht im wesentlichen aus einem Schachbrett, einem darunter liegenden Feld für Mitteilungen und Aufforderungen für den Lerner, einer Reihe von Schaltflächen und Menüs so-wie ganz unten einem Kommentarfeld, in dem der Lerner die aktuelle Stel-lung elaborieren kann. Spielfenster können (wie in der Abbildung Brett 1

und Brett 2) zu Icons verkleinert werden und stehen dann für eine spätere Inspektion zur Verfügung, ohne viel Platz einzunehmen.

In den Spielfenstern können Partien angeschaut werden; es kann dort aber auch selbst gespielt werden. In beiden Fällen ist die Kommentierung von Situationen am Bildschirm möglich. Die Kommentare werden zusammen mit den einzelnen Stellungen gespeichert und sind später wieder in ihrer ursprünglichen Form zu sehen, wenn der Lerner zu der Situation zurückkehrt (etwa weil er mit Hilfe des „Zurück“-Knopfes den Spielverlauf rekapitulieren will.) Aufgrund der großen Bedeutung solcher Elaborationen für das Lernen aus Beispielen wurde ein neuartiger Ansatz gewählt, der das Notieren von Kommentaren mit wenigen Mausklicks ermöglicht. Dazu ist in CACHET ein Elaborationsassistent integriert, wie in Abbildung 2 zu sehen.

Abbildung 2:
Elaborationsassistent in CACHET.



Nach einem Mausklick auf die „Kommentar“-Schaltfläche erscheint ein Fenster mit dem an den Endspieltyp KLLK (König und zwei Läufer gegen König) angepassten Elaborationsvokabular, mit dem Aussagen über Ziele und Strategie der überlegenen Farbe gebildet werden können. Die Auswahl von Phrasen aus dieser Liste führt dann dazu, dass pro ausgewählter Phrase ein Vorschlag für einen ausformulierten Kommentarsatz unter Verwendung dieser Phrase in das Kommentarfeld geschrieben wird. Bei der Formulierung dieses Satzes berücksichtigt der Elaborationsassistent die Situation auf dem Schachbrett. Im Bild führt die Auswahl der Phrase „an den Rand drängen“ dazu, dass der Assistent „Weiß möchte den schwarzen König an den Rand drängen“ als Vorschlag für eine Elaboration in das Kommentarfeld schreibt. Würde der König ein Feld höher stehen, würde stattdessen „Weiß hat den schwarzen König an den Rand gedrängt“ geschrieben. Die so im Kommentarfeld gebildeten Sätze haben tatsächlich nur den Status von Vorschlägen und können sofort im Anschluss vom Lerner editiert oder auch ganz gelöscht werden. Frei formulierte Kommentare können jederzeit direkt ins Kommentarfeld eingetragen werden.

Mit dem Elaborationsassistenten soll das Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen des Fixierens von Elaborationen verbessert werden. Lerner sind oft schwer dazu zu bewegen, Kommentare aufzuschreiben, weil kein unmittelbarer Nutzen dieser Anstrengung ersichtlich ist. Durch die Verbindung einer Elaborationsinstruktion vor der Beschäftigung mit CACHET und eines extrem einfachen Notierens von Kommentaren bei der Arbeit mit dem Programm soll die Aufzeichnung von Elaborationen so attraktiv gemacht werden, dass sie von fast allen Lernern eingesetzt wird. Auf der anderen Seite sollen die Kommentare natürlich nicht vollständig vom System erzeugt werden, um dem Lerner nicht das Nachdenken abzunehmen. Wenn er aber eine Idee für eine Elaboration hat, soll er sie mit zwei Mausklicks formulieren können.

CACHET füllt im Laufe einer Sitzung sein Fallgedächtnis mit den Partien, die angeschaut/elaboriert oder selber gespielt wurden. Alle Situationen stehen dem Lerner auf dem Bildschirm zur Verfügung, entweder in offenen Spielfenstern oder in zu Icons verkleinerten. Erinnerungs-Interventionen dienen dazu, die verfügbaren Fälle besser zu nutzen: Das System hilft im Fehlerfall dem Lerner, aus den bisherigen Spielen eine Stellung herauszusuchen, die der aktuellen Situation ähnlich ist. Dies geschieht in der Form, dass das entsprechende Spielfenster mit dem früheren Fall neben dem aktuellen Spielfenster geöffnet wird. Es wird dabei nicht nur das passende Spielfenster platziert, sondern auch das frühere Spiel bis zur entsprechenden ähnlichen Situation vor- oder zurückgespult. Im Mitteilungsfeld des aktuellen (rechten) Spielfensters ist dann ein Hinweis auf die frühere Situation zu lesen. Der Lerner kann anschließend das Umfeld der früheren Situation durch Betätigen der „Vor“- oder „Zurück“-Schaltfläche inspizieren.

Wenn der Lerner beim Spielen einen Fehler macht, aber kein ähnlicher früherer Fall zur Unterstützung bereitsteht, kann CACHET eine hilfreiche Situa-

tion dynamisch erzeugen. Dabei wird wie bei einer Erinnerung ein zweites Spielfenster neben dem aktuellen Spielfenster platziert, das dann mit einer Stellung gefüllt wird, die sich aus der aktuellen in wenigen Zügen ergeben kann und für den Lerner besonders bemerkenswert ist.

5. Eine Trainingsstudie

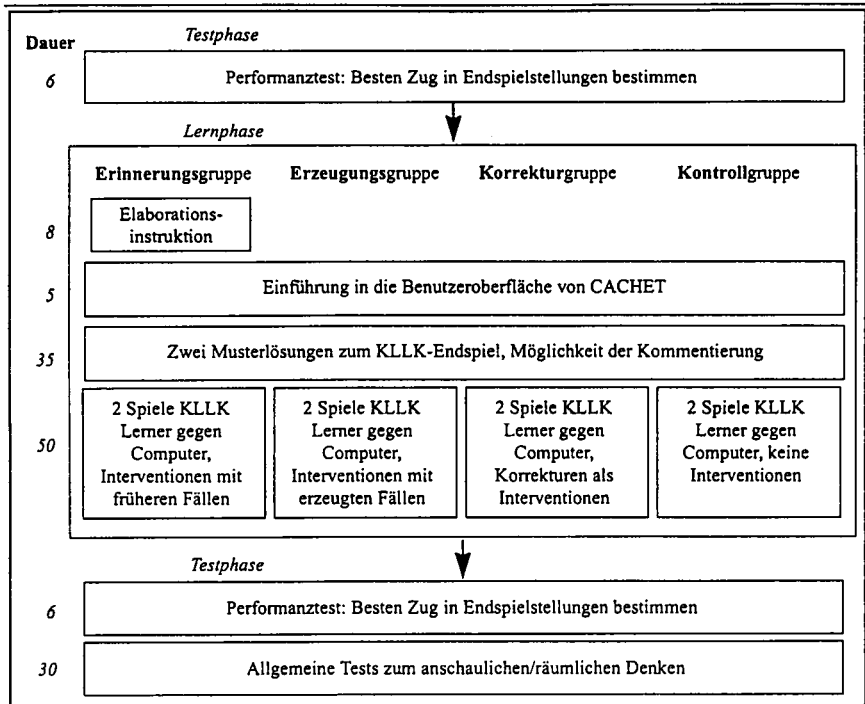
In einer Trainingsstudie gingen wir der Frage nach, ob und in welchem Maße die Präsentation ähnlicher Spielsituationen eine effektive Vermittlungsstrategie darstellt. Dazu wurden vier Bedingungen miteinander verglichen: Eine Kontrollgruppe studierte zwei Beispielpartien und spielte danach gegen ein sehr gutes Computerschachprogramm zwei Endspiele. Diese Pbn nutzten das CACHET-Interface in beiden Phasen, bekamen aber keine Interventionen von Seiten des Systems während der Spielphase.

Die drei Experimentalgruppen unterschieden sich von der Kontrollgruppe dadurch, dass CACHET während der Spielphase intervenierte, und zwar in drei Varianten: (1) in der „Korrektur“-Bedingung wurden die Pbn bei jedem Fehler über den optimalen Zug informiert; (2) in der „Erinnerungs“-Bedingung wurden die Pbn im Falle eines suboptimalen Zugs an Situationen aus den Beispielpartien (nebst ihren Elaborationen) erinnert, sofern entsprechend ähnliche Situationen vorlagen; (3) in der „Erzeugungs“-Gruppe konstruierte CACHET bei Nichtvorliegen eines passenden Falls aus den Beispielpartien einen Fall, indem es die (negativen) Konsequenzen des Zuges des Lernenden berechnete und am Brett anzeigte. Die Erinnerungsgruppe erhielt zusätzlich noch ein kurzes Selbsterklärungstraining vor der eigentlichen Lernphase. Das Design ist in Abbildung 3 grafisch dargestellt.

Jede der vier resultierenden experimentellen Bedingungen war mit 8 bis 11 Pbn besetzt. Es handelte sich um durch Aushänge an der Universität angeworbene Studenten zwischen 21 und 30 Jahren; 20 der 37 Pbn waren männlich. Drei Voraussetzungen mussten die Studenten erfüllen: Sie sollten früher einmal die Grundregeln des Schachspiels gelernt haben, nicht mehr aktiv spielen und Computererfahrung besitzen. Wie sich im weiteren Verlauf der Studie zeigte, gaben die Teilnehmer eine zutreffende Selbsteinschätzung hinsichtlich dieser Bedingungen ab. Das Vorwissen wurde durch einen Vortest (Reaktionen auf typische Endspielsituationen) erhoben, der zu 16 Endspielstellungen unter Zeitdruck den besten Zug erfragte und die Lösungen der Vpn differenziert bewertete. Zur Kontrolle weiterer Personenmerkmale wurden zudem anschauliches Denken, räumliches Vorstellungsvermögen und Fähigkeit zur Gestalterkennung mit Standardverfahren erfasst.

Die Versuche fanden in Einzelsitzungen statt, die zwischen zweieinhalb und drei Stunden dauerten und auch eine Einführung in die Bedienung von CACHET umfassten. Neben einer Basisentlohnung konnten sich die Teilnehmer je nach Erfolg (Matt setzen) in der Problemlösephase Bonuszahlungen verdienen.

Abbildung 3:
Der Versuchsablauf im Überblick.



Unsere zentrale Erwartung war, dass die Erinnerungs- und Erzeugungsgruppe die beiden anderen Gruppen bezüglich des Lerngewinns übertreffen würden und die Korrekturgruppe besser abschneiden würde als die Kontrollgruppe.

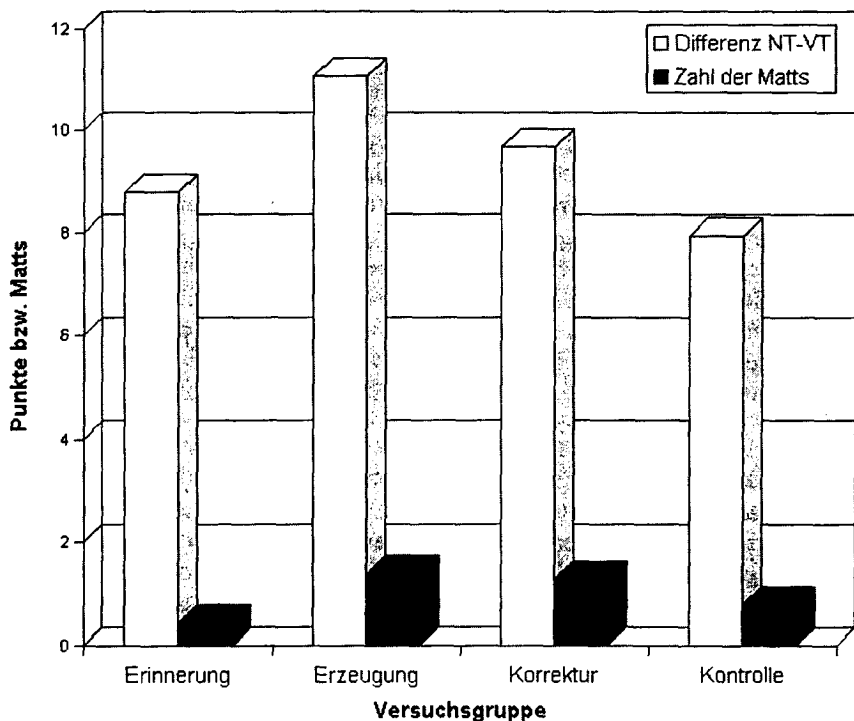
5.1 Ergebnisse

Um den Effekt der einzelnen Interventionen miteinander zu vergleichen, wählten wir die Differenz aus Nachtest und Vortest als Kriterium. Der ausschließliche Bezug auf das Ergebnis des Nachtests ist aufgrund der Gruppenunterschiede beim Vortest weniger sinnvoll.

Als Vergleichsmaßstab wurde die Korrekturgruppe herangezogen, bei der also auf suboptimales Verhalten durch sofortige Korrektur reagiert wurde. Ein solches Vorgehen im Stil des *model tracing* mit sofortiger Rückmeldung ist ein Standardverfahren für wissensbasierte Unterstützung von Lernprozessen, dessen Effektivität in vielen Studien nachgewiesen wurde. Daher ist es besonders interessant, zu erfahren, ob die Interventionen in CACHET die Effektivität des *model tracing* erreichen oder sogar übertreffen. Letzteres wurde als Hypothese formuliert.

In Abbildung 4 zeigt der Vergleich von Korrekturgruppe und Erinnerungsgruppe, dass sich die beiden Interventionsformen kaum (0,9 Punkte) unterscheiden. Setzt man die Korrekturgruppe mit der Erzeugungsgruppe in Beziehung, zeigt sich ein nur wenig anderes Bild. Die Vpn der Erzeugungsgruppe lernen zwar zwischen Vortest und Nachtest mehr (1,38 Punkte) als die Korrekturgruppe. Eine Varianzanalyse ergibt aber, dass die Mittelwerte des Lernerfolgs sich nicht statistisch zwischen den vier Gruppen unterscheiden ($F(3)=0,331$; $p=0,8$; nicht signifikant). Auch paarweise Einzelvergleiche mit t-Tests führen zu keinen signifikanten Resultaten. Es gibt nur einen Trend, dass Interventionen mit erzeugten Fällen, die unangenehme Konsequenzen eines fehlerhaften Zugs aufzeigen, zu besserer Performanz beim Nachtest als korrigierende Interventionen führen. Als zweiter Trend ist festzuhalten, dass erzeugte Fälle zur Unterstützung des Lerners effektiver scheinen als erinnerte Fälle, wenn sie jeweils allein eingesetzt werden.

Abbildung 4:
Entwicklung der Endspielfähigkeit der Versuchsgruppen im Vergleich.



Die Zahl der gewonnenen Endspiele im Anschluss an das Beispielstudium ist wohl kein optimaler Indikator für den Lernerfolg, weil es sich nur um zwei Spiele handelte, bei denen es zumal durchaus möglich war, dass sie durch einen einzigen falschen Zug aufgrund der Zeitbegrenzung nicht mehr gewonnen werden konnten. Außerdem ist bei einem Matt nicht klar, ob die

Vpn es auch ohne die Musterlösungen und Interventionen geschafft hätten, weil die Fähigkeit zum Mattsetzen nicht in einem Vortest geprüft wurde. Dennoch wurde die Zahl der Matts erhoben. Es überrascht, dass die Erzeugungsgruppe mehr als dreimal so häufig ein Matt erreicht hat als die Erinnerungsgruppe. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant.

Über die Ursachen lässt sich nur spekulieren. Ein Indiz für ein unterschiedliches Verhalten beim Lösen der Aufgaben lässt sich aus der Zahl der Züge ableiten, die während der Spielphase auftraten. Die Vpn der Erinnerungsgruppe haben in der Spielphase signifikant weniger Züge gesehen als die der Erzeugungsgruppe. Wenn sich die Spielphase auf zwei Aufgaben beschränkt hätte, könnte man die Folgerung erwägen, dass die Lerner aus der Erzeugungsgruppe länger bis zum Matt brauchen. Da aber bei zwei rasch erzielten Matts auch noch weitere Aufgaben von den Vpn bearbeitet werden durften, kann über die Anzahl der Züge pro Spiel damit nichts ausgesagt werden. Vielmehr bleibt nur zu konstatieren, dass Erinnerungen das Spiel zu verlangsamten scheinen und so in dem zur Verfügung stehenden Zeitraum weniger Züge durchgeführt werden. Dies lässt sich mit höheren Transferanforderungen von erinnerten im Gegensatz zu erzeugten Fällen erklären. Wenn CACHET an eine frühere Situation erinnert, muss sich der Lerner zunächst orientieren, welche Merkmale der damaligen Stellung relevant waren, wie die Vorgeschichte oder die Folgen aussahen, und wie der frühere Fall auf die aktuelle Situation zu übertragen ist. Im Gegensatz dazu erhalten die Lerner bei einem erzeugten unterstützenden Fall eine an die aktuelle Situation angepasste Stellung, die typischerweise nur drei Halbzüge entfernt ist und daher kaum Transferanforderungen stellt. Die zusätzliche Zeit, die Lerner für die Verarbeitung der erinnerten Fälle aufwenden müssen, zahlt sich offenbar nicht in gleichem Maße dadurch aus, dass bei der Verarbeitung Lernprozesse stattfinden, die wiederum die Performanz positiv beeinflussen. Hingegen scheint die Zeit effektiver dadurch genutzt werden zu können, dass weitergespielt wird und insgesamt deutlich mehr Situationen und Züge in der gleichen Zeit bearbeitet werden.

Es ist zu vermuten, dass Hilfe beim Transfer erinnerten Fälle den Nachteil der langen Bearbeitungszeit ausgleichen kann. Wenn etwa auf die entscheidenden Merkmale hingewiesen wird, die früherer und aktueller Fall gemein haben, und dazu ggf. Hinweise auf die Art der Transformation gegeben werden, mit der die zwei Stellungen aufeinander abgebildet werden können, dürfte der Aufwand für die Verarbeitung und Nutzung erinnerten Fälle drastisch sinken. Damit könnte vermutlich auch diese Form der Intervention vom Trend her die Korrekturinterventionen überflügeln.

Bemerkenswert ist schließlich noch, dass keine der drei Interventionen - auch nicht das klassische Korrekturverhalten - signifikant bessere Performanz als das Ausbleiben jeglicher Intervention zeitigt. Das bloße learning by doing nach dem Studium von Musterlösungen scheint in Bereichen wie diesem zur Vermittlung der wesentlichen Prinzipien gute Dienste zu leisten. Dies mag im Fall des Schachspiels daran liegen, dass nach jedem Zug eine ge-

wisse Rückmeldung in Form des gegnerischen Zugs gegeben wird, was zu einer unmittelbaren Bewertung der vorhergehenden Aktion führen kann. In solchen Simulationsumgebungen, in denen Handlungen keine unmittelbaren Konsequenzen haben, die Rückschlüsse auf ihre Güte erlauben, dürfte das *learning by doing* wesentlich schlechter abschneiden. Je weniger Rückmeldung ein Lerner in einer unbekannten Problemsituation erhält, desto eher benötigt er hilfreiche Interventionen. Ein Beispiel für einen Bereich fast ohne Rückmeldung sind die in den Selbsterklärungsstudien oft eingesetzten Musterelösungen und Aufgaben zur klassischen Mechanik. Dort kann ein schwerwiegender Fehler ganz am Anfang - etwa beim Zeichnen des Kräftediagramms - im folgenden völlig unbemerkt bleiben, da das Erstellen und Auflösen der Gleichungen auch mit einer falschen Kraft ohne Hindernisse abläuft. Selbst dem Endresultat sieht man seine Fehlerhaftigkeit dann nicht an. Es ist also zu vermuten, dass bei einem Bereich mit weniger Rückmeldungen die Performanz der Kontrollgruppe deutlich sinken würde und die Effektivität der Interventionen im Vergleich deutlich größer wäre.

Was die Abhängigkeit der Lernergebnisse von Voraussetzungen auf Lernerseite, insbesondere Vorwissen und räumlichem Vorstellungsvermögen, angeht, sei hier nur zusammenfassend erwähnt, dass die resultierenden Korrelationen in den meisten Fällen nicht signifikant waren. Aufgrund des für korrelative Aussagen dann doch sehr geringen Stichprobenumfangs hat dies aber keine große Aussagenkraft.

6. Abschließende Bemerkung

Da Computer heute fast allen Schülern zugänglich sind und an Hochschulen bald so selbstverständlich sein werden wie der Schreibblock, werden Lehrbücher zunehmend in computerlesbarer und damit auch zunehmend in interaktiver Form verfügbar werden. Insofern gewinnt die Frage nach der Gestaltung interaktiver Präsentationen von Beispielen durchaus praktische Bedeutung. Ein zentrales Problem dabei ist, wie man die Schnittstelle, über die der Benutzer mit dem Beispiel interagiert, so gestalten kann, dass lernförderliche Prozesse angestoßen oder aufrechterhalten werden. Dies umfasst zum einen Maßnahmen, die es dem Schüler einsichtig machen, wozu die Beispielverarbeitung dient — beispielsweise dadurch, dass man die Beispielrepräsentation, die der Schüler am Schirm aufbaut, für späteres Problemlösen automatisch zugänglich macht. Im Idealfall ist auf diese Art und Weise der Aufwand bei der Beispielverarbeitung direkt proportional zum Nutzen beim Problemlösen.

Zum anderen stellt sich die Frage der Gestaltung der direkten Interaktion mit der Beispiellösung. Soll man den Lernern eine Repräsentationssprache für die Beispiele vorgeben oder erlaubt man freie Annotationen? Wie kann man im ersten Fall verhindern, dass die vorgegebene Begrifflichkeit einzelne Schüler überfordert? Wie kann man im zweiten Fall bewerkstelligen, dass die von Lerner zu Lerner variierende Beschreibungssprache trotzdem mög-

lichst automatisch verarbeitet werden kann, um das Problemlösen zu unterstützen? Wie kann man bei der Beispielkodierung der Tatsache Rechnung tragen, dass sich das Beschreibungsvokabular oder seine Bedeutung über die Zeit ändert, weil die Schüler mehr über den Bereich gelernt haben? Soll man z.B. alle Beispielbeschreibungen jeweils mit der aktuell für richtig gehaltenen Beschreibungssprache kodieren? Wenn ja, wie kann dies algorithmisch bewerkstelligt werden?

Antworten auf solche und ähnliche Fragen dürfen nicht nur durch das bestimmt sein, was technisch machbar ist. Vielmehr müssen lern- und kognitionspsychologische Erkenntnisse Berücksichtigung finden. Wo diese fehlen, muss entsprechende Forschung angeregt werden. Dann lassen sich computergestützte Lernumgebungen auch für eine effektive Anregung und Vermittlung lernstrategischen Wissens nutzen.

Literatur

- Anderson, J., Boyle, D. & Yost, G. (1985). The Geometry Tutor. In *Proceedings of the Ninth IJCAI*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.
- Beller, S. (1994). *Lernen durch Selbsterklärung von Beispielen* (Diplomarbeit). Freiburg: Universität, Psychologisches Institut.
- Bielaczyc, K., Pirolli, P., & Brown, A.L. (1995). Training in self-explanation and self-regulation strategies: Investigating the effects of knowledge acquisition activities on problem solving. *Cognition & Instruction*, 13, 221-252.
- Boekaerts, M. (1997). Self-regulated learning: A new concept embraced by researchers, policy makers, educators, teachers, and students. *Learning and Instruction*, 7, 161-186.
- Carbonell, J. G. (1986). Derivational analogy: A theory of reconstructive problem solving and expertise acquisition. In R. S. Michalski, J. G. Carbonell & T. M. Mitchell (Hrsg.), *Machine Learning. An artificial intelligence approach Vol II* (pp. 371-392). Los Altos, CA: Morgan Kaufmann.
- Catrambone, R., & Holyoak, K. (1990). Learning subgoals and methods for solving probability problems. *Memory & Cognition*, 18, 593-603.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Chi, M.T.H. & VanLehn, K. (1991). The Content of Physics Self-Explanations. *The Journal of the Learning Sciences*, 1, 69-105.
- Chi, M.T.H., Bassok, M., Lewis, M., Reimann, P., & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13, 145-182.
- Chi, M.T.H., de Leeuw, N., Chiu, M-H., & LaVancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18, 439-478.
- Ferguson-Hessler, M.G.M., DeJong, T. (1990). Studying physics texts: differences in study processes between good and poor performers. *Cognition and Instruction*, 7, 41-54.
- Glaser, R. (1991). The maturing of the relationship between the science of learning and cognition and educational practice. *Learning and Instruction*, 1, 129-144.
- Halliday, D., & Resnick, R. (1981). *Fundamentals of physics*. New York: Wiley.
- Kintsch, W., & Greeno, J. G. (1985). Understanding and solving word arithmetic problems. *Psychological Review*, 92, 109-129.

- Kolodner, J.L. (1993). *Case-Based Reasoning*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.
- Mandl, H. & Friedrich, H.F. (Hrsg.)(1992). *Lern- und Denkstrategien. Analyse und Intervention*. Hogrefe Verlag für Psychologie
- Pirolli, P., & Recker, M. (1994). Learning strategies and transfer in the domain of programming. *Cognition & Instruction*, 12, 235-275.
- Plötzner, R. (1994). *The integrative use of qualitative and quantitative knowledge in physics problem solving*. Frankfurt/Main: Peter Lang.
- Reimann, P. (1997). Lernprozesse beim Wissenserwerb aus Beispielen. Analyse, Modellierung, Förderung. Bern: Huber Verlag.
- Renkl, A. (1997). Learning from worked-out examples: A study on individual differences. *Cognitive Science*, 21, 1-30.
- Renkl, A., Stark, R., Gruber, H. & Mandl, H. (1998). Learning from worked-out examples: The effect of example variability and elicited self explanations. *Contemporary Educational Psychology*, 23, 90-108.
- Ross, B.H. (1987). This is like that: The use of earlier problems and the separation of similarity effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13, 629-639.
- Salomon, G., Perkins, D.N., & Globerson, T. (1991). Partners in cognition: extending human intelligence with intelligent technologies. *Educational Researcher*, 20(3), 2-9.
- Schank, K., & Cleary, Ch. (1995). *Engines for education*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Stark, R. (1999). *Lernen mit Lösungsbeispielen*. Göttingen: Hogrefe.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- VanLehn, K. (1998). Analogy events: How examples are used during problem solving. *Cognitive Science*, 22, 347-388.
- VanLehn, K., Jones, R.M., & Chi, M.T.H. (1992). A model of the self-explanation effect. *Journal of the Learning Sciences*, 2, 1-59.

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr. Peter Reimann

Psychologisches Institut der Universität Heidelberg

Hauptstr. 47-51, 69117 Heidelberg